

投稿類別：自然科技

篇名:

致命的擁抱-以 Arduino 結合壓力感測器初探蛇類的纏繞力

作者

潘霓詠。萬寧國小。六年甲班

鍾欣怡。萬寧國小。六年甲班

鄒燁葆。萬寧國小。六年甲班

指導老師

謝尚晉老師

方亞蘋老師

## 壹、前言

### 一、研究動機

在一次輔導課的傍晚，我們發現校園水溝裡有一隻蛇正緊緊纏繞住一隻青蛙，這一幕讓我們深感震撼與好奇！我們想知道：蛇在纏繞時能產生多大的力量？不同的體型和環境等是否會影響纏繞力？希望能藉由這次的機會將日常所觀察到的現象深入探討。



圖 1 紅斑蛇以身體纏繞捕食蛙類

## 貳、文獻回顧

### 一、蛇的分類與獵食方式(杜銘章，2004；Mattison，2000)

蛇在分類上屬爬蟲綱(Reptilia)、蛇亞目(Serpentes)。在蛇亞目之下又細分為盲蛇次亞目(Scolecophidia)與真蛇次亞目(Alethinophidia)兩大類群(圖 2)。我們透過文獻將這兩大類群的差別進行彙整(表 1)。

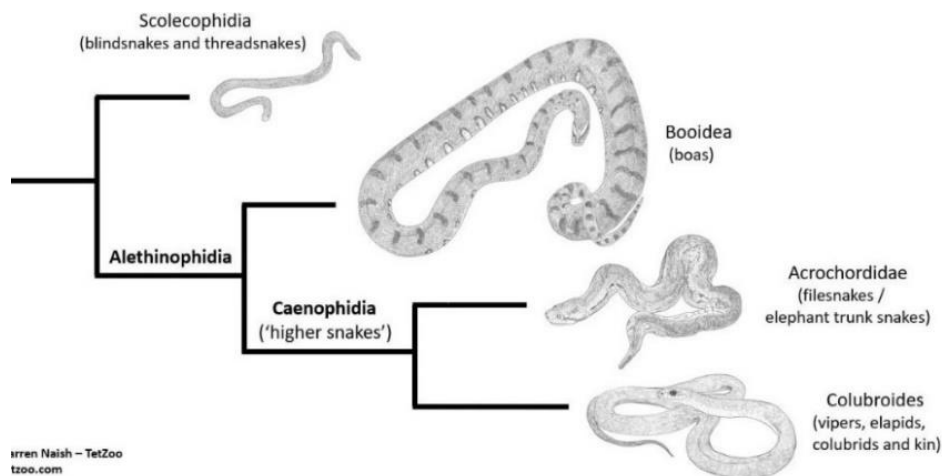


圖 2 盲蛇次亞目與真蛇次亞目分類樹狀圖

資料來源：<https://tetzoo.com/blog/2024/7/19/grayiid-water-snakes>

表 1 盲蛇次亞目與真蛇次亞目之比較(杜銘章，2004；Mattison，2000)

	盲蛇次亞目 Scolecophidia	真蛇次亞目 Alethinophidia
演化地位	原始類群	進化程度較高
體型與骨骼肌肉	小型；構造較簡單	小型至大型；構造較發達
棲息環境	多穴居在地底	分布廣泛(陸域、水域)
食性	小型無脊椎動物	多為脊椎動物
獵食方式	不具纏繞能力	以纏繞或毒液制服獵物

兩類群在體型與獵食方式上差異明顯，真蛇演化程度較高，能捕食脊椎動物並以纏繞或毒液制服獵物。

## 二、不同溫度對蛇類的行為之影響

蛇屬於外溫動物(ectotherm)，平時必須依靠外界熱源來提升體溫，進而維持正常的代謝速率。若缺乏適當熱源，則可能造成代謝減緩及影響行為表現(杜銘章，2004)。我們初步彙整國內外幾篇關於溫度對蛇類行為的研究，如表 2。

表 2 溫度影響蛇類行為的研究彙整(金磊，2008；Greenwald，1974；Whitaker et al.，2000)

研究者 與年份	研究對象	溫度範圍	探討行為表現	主要發現
Greenwald (1974)	黑唇松蛇 ( <i>Pituophis melanoleucus</i> )	18~33°C	攻擊成功率	在 27°C 下表現最佳
Whitaker et al. (2000)	東部擬眼鏡蛇 ( <i>Pseudonaja textilis</i> )	18~36°C	攻擊速度、 持續時間等	不同溫度下表現無明顯差異
金磊 (2008)	台灣三種龜殼花屬 ( <i>Trimeresurus</i> )	7~36°C	攻擊速度、攝食率等	生活在高海拔的菊池氏龜殼花在高溫下表現最佳，適應力優於低海拔蛇類

## 三、Arduino 壓力感測器的原理(慧手科技等，2001；Maker 電子學)

壓力感測片(FSR)是一種會隨著壓力改變電阻的感測器，壓力大時電阻變小，壓力小時電阻就變大。我們接線將 FSR 和一個固定電阻接在一起，做成分壓電路，再用 Arduino 去讀取電壓變化。Arduino 會把 0-5V 電壓轉成 0-1023 的數字，用來表示蛇纏繞時的壓力大小。

回顧完文獻，我們得知：現今蛇類多屬真蛇次亞目，體型因種類而有差異。溫度確實會影響蛇的行為表現，而不同蛇種對溫度的適應能力也不相同。因此，本研究將綜合上述條件，進一步探討蛇類纏繞力的表現與影響因素。本研究提出以下假說：

- 1.不同蛇種的纏繞力都不相同(研究項目一)。
- 2.蛇的體長、體積與纏繞力都呈正相關(研究項目二)。
- 3.在不同溫度之下，蛇的纏繞力表現會有所差異(研究項目三)。

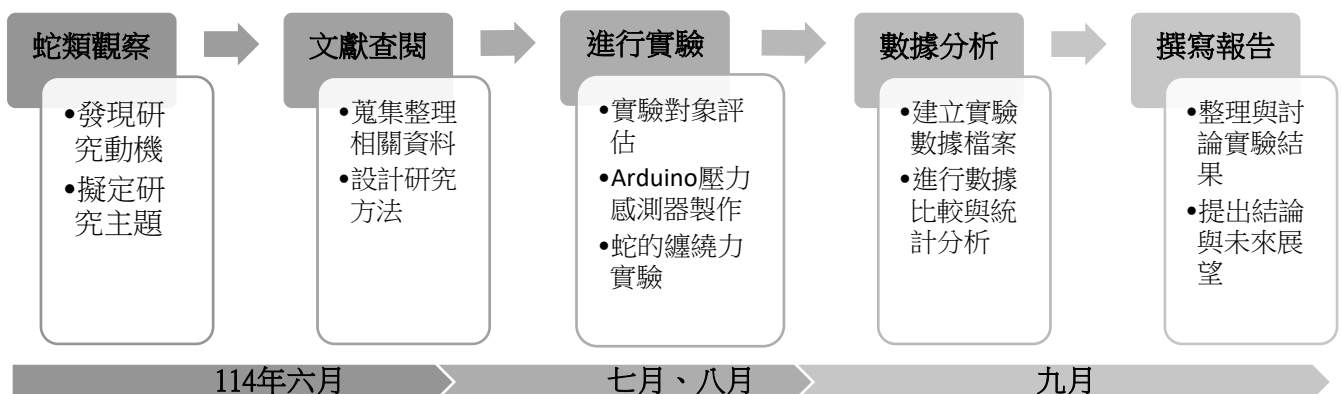
## 參、研究目的

### 一、研究項目

這次，我們使用了 Arduino 結合壓力感測器(FSR)來量化蛇的纏繞力，本研究想要探討的共有三項：

- (一) 不同蛇種的纏繞力之比較
- (二) 蛇的體型與纏繞力之相關性
- (三) 溫度梯層對不同蛇種的纏繞力之影響

### 二、研究程序



## 肆、研究對象與器材

一、主要實驗器材：溫控箱、水銀溫度計、壓力感測片(FSR UX 408、30cm)、UNO 開發板、杜邦線、電阻 10k $\Omega$ 、麵包板、USB 連接線、冷凍食餌(小白鼠)、手套、泡棉筒、束帶(圖 3)。

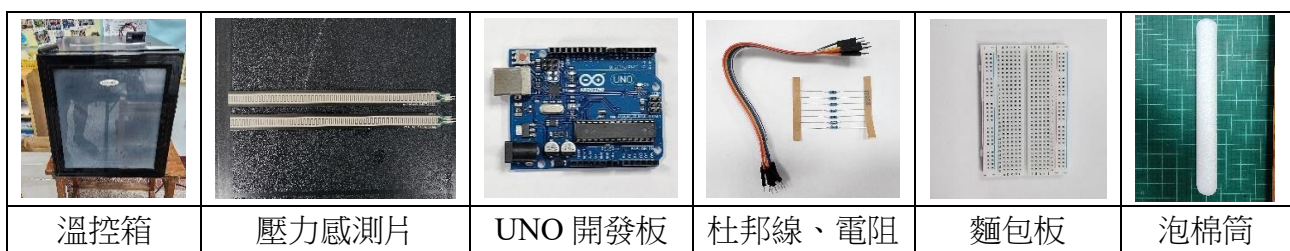


圖 3 主要實驗器材

### 二、實驗蛇類的可行性評估

在正式進行實驗前，我們必須先思考「應該使用哪裡來的蛇？」一開始，我們曾採集野生紅斑蛇進行試作，但發現牠們在圈養環境中容易緊迫，不僅畏懼人為操作，也有樣本條件操控上的問題。為了確保研究的可行性，我們隨後進行小組討論，並比較了野生蛇與

圈養蛇的優缺點(表 3)。

表 3 野生蛇與圈養蛇作為實驗對象的優缺點評估

野生蛇		圈養蛇
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>•較具鄉土性質</li> <li>•對台灣蛇類保育有貢獻</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•樣本較易取得、健康狀況比較穩定</li> <li>•實驗變因可以統一(如年齡、性別等)</li> <li>•習慣圈養環境，本能行為比較容易表現出來</li> </ul>
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>•採集不容易、健康狀況不穩定</li> <li>•實驗變因難掌握(年齡等)</li> <li>•行為容易緊迫造成實驗困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•鄉土性質較低</li> </ul>

雖然野生蛇在行為的自然度上具有優勢，但因緊迫、來源及條件不易控制，對實驗的可行性會有較大限制。相較之下，圈養蛇雖然在本土生態的代表性略有不足，但樣本在實驗上的穩定性與可行性上更具優勢，因此本研究選擇以圈養蛇為主要實驗對象。

### 三、實驗蛇的種類

本次實驗的三種蛇為人工繁殖(Captive Breed)並自幼體飼養兩年的新成體。實驗前會先確認健康狀況，若有虛弱或行為異常則不納入實驗。同時，我們確保每隻蛇在圈養環境中能主動獵食，避免因緊迫影響實驗結果。基本資料如表 4。

表 4 三種實驗蛇的基本資料(長板拓也，2002；杜銘章，2004；Mattison，2000)

中文名稱/學名	主食性	原產地	主要棲息環境	體長/體重	出生日期
玉米蛇 <i>Pantherophis guttatus</i>	齧齒類	北美洲	森林、農墾地	89-103cm 170-220g	2023 年 7 月~9 月
肯亞沙蚺 <i>Gongylophis colubrinus</i>	齧齒類	非洲	沙漠	49-64cm 190-215g	
佛州王蛇 <i>Lampropeltis californiae</i>	齧齒類	北美洲	草原、森林	102-125cm 200-270g	



圖 4 三種實驗蛇

### 四、Arduino 壓力感測器的製作(慧手科技等，2001；Maker 電子學)

把壓力感測片(FSR)與電阻接成分壓電路，一端接 5V，一端接 10k 電阻，電阻另一端接 GND。感應器訊號線連接至 A0(圖 7)；用 USB 把組好的 Arduino 壓力感測器接到電腦，並打開 Arduino IDE(圖 6)；之後上傳程式碼，需求及程式碼如圖 5，並用手指按壓感測片



## 致命的擁抱-以 Arduino 結合壓力感測器初探蛇類的纏繞力

觀察壓力數值變化。

- 每 0.5 秒測量一次
- 連續測量 90 秒
- 輸入 r 後歸零三秒
- 輸入 s 後開始測量
- 算平均值

```
sketch_sep18a.ino
1  const int fspin = A0; // FSR 感測器接 A0
2  int baseline = 0; // 歸零基準值
3  bool readyToStart = false;
4
5  void setup() {
6    Serial.begin(9600);
7    Serial.println("請輸入 r 進行歸零，再輸入 s 開始測量");
8  }
9
10 void loop() {
11   if (Serial.available()) {
12     char cmd = Serial.read();
13
14     if (cmd == 'r') { // r = reset baseline
15       calibrate();
16       readyToStart = true;
17       Serial.println("歸零完成，請輸入 s 開始測量");
18     }
19   }
20 }
```

圖 5 程式需求與程式碼

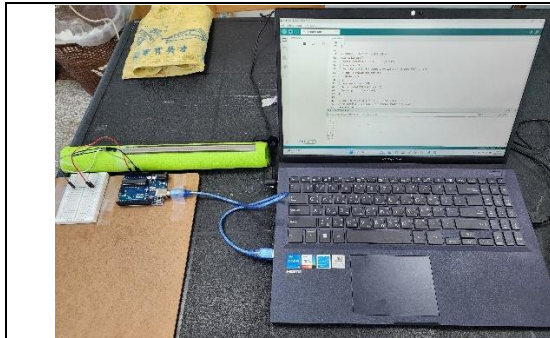


圖 6 組裝連接好的 Arduino 壓力感測器

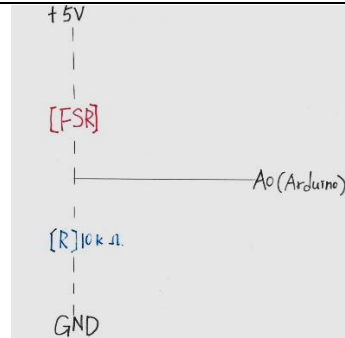


圖 7 Arduino 壓力感測器電路

## 伍、實驗方法與步驟

### 一、蛇類的纏繞力量測量

#### (一)誘食器的製作與實驗步驟

裁一支長 30cm，直徑 3cm 的圓柱體泡棉筒作為誘食器基體，將壓力感測片(FSR)貼在誘食器上(圖 8)，另將食餌(冷凍小白鼠)固定在 FSR 的對面。最後，把誘食器表面塗抹小白鼠的氣味來加強化學訊息。

將誘食器上附有食餌的部位靠近蛇的吻部，並輕微晃動來誘發蛇的獵食反應，確認蛇軀幹都纏在誘食器上面之後，立即測量壓力數值(每 0.5 秒測一次，共測 90 秒)。測量過程中以左右 40 度、每分鐘 30 下的頻率擺動，模擬獵物掙扎的情境讓蛇持續纏繞(如圖 9)。

#### (二)名詞解釋

**1.平均纏繞總力：**指每隻蛇在測量 90 秒期間，將所有壓力數值(共 180 筆)相加後取平均，作為該個體在整個纏繞過程中的力量表現。

**2.平均最大纏繞力：**找出每隻蛇在測量過程中的最大壓力數值，再取每種蛇的平均(N=5)。此數值用來表示該蛇種在纏繞過程中「瞬間最強」的力量表現。

**備註：**本實驗僅以 Arduino 顯示的壓力數值作相對比較，暫不換算為實際力學單位(牛頓)。

### 二、蛇的體長測量與體積概算

#### (一)體長測量

## 致命的擁抱-以 Arduino 結合壓力感測器初探蛇類的纏繞力

我們在捕捉與測量的過程中，發現蛇身體容易扭動，不容易測得準確的數值。為了減少誤差，我們改用 ImageJ 軟體來測量(圖 11)，記錄蛇從頸部到尾端的長度，單位為公分。

### (二)體積概算

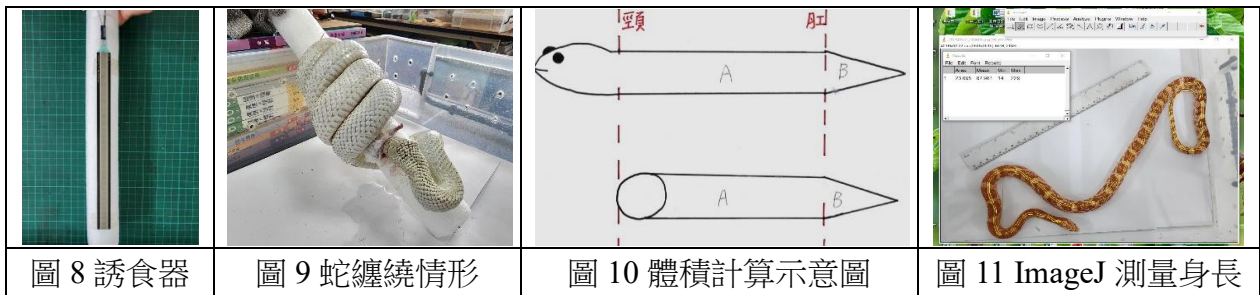
我們參考 Dupoué et al.(2015)所採用的方法並加以調整：將蛇的軀幹視為圓柱體，尾段視為圓錐體(如圖 10)。其中，圓柱體的直徑 ( $d_1$ ) 我們取蛇身體前、中、後三段的平均值，高度 ( $h_1$ ) 則以頸部到泄殖腔的長度。蛇的尾部利用游標卡尺測量肛鱗段的直徑 ( $d_2$ )，尾長作為高度 ( $h_2$ )。最後，將兩者體積加總，即可得到蛇身體的近似體積，頭部不列入計算。計算公式如下：

$$V = \text{圓柱體體積}(A) + \text{圓錐體體積}(B)$$

$$\text{圓柱體體積計算}(A) : \left(\frac{1}{2}d_1\right)^2 \times \pi \times h_1$$

$$\text{圓錐體體積計算}(B) : \frac{1}{3} \times \left(\frac{1}{2}d_2\right)^2 \times \pi \times h_2$$

備註：V=蛇的體積( $\text{cm}^3$ )、 $d_1$ 及 $d_2$ =直徑( $\text{cm}$ )、 $h_1$ 及 $h_2$ =柱高( $\text{cm}$ )、 $\pi$ =圓周率 3.14



### (三)蛇類的體溫控制

參考 Greenwald (1974)研究中的溫度範圍。利用溫控箱分別把溫度設定在 14°C、25°C 及 32°C(低、中、高)三個梯層，過程中以水銀溫度計監控溫度。將蛇放入溫控箱之中 24 小時後將蛇取出，以上述同樣方法測量蛇的纏繞力。

## 三、數據統計分析

本研究使用 Microsoft Excel 軟體進行實驗數據的建檔，並進行統計與分析。

## 陸、實驗結果與討論

### 一、研究項目一：不同蛇種的纏繞力之比較

#### (一)結果

從表 5 及圖 12 中可以看出，不同蛇種的纏繞力量有明顯差異。平均纏繞總力方面，玉米蛇最低(42)，肯亞沙蚺居中(84.6)，而佛州王蛇最高(88.9)。平均最大纏繞力則是肯亞沙蚺

## 致命的擁抱-以 Arduino 結合壓力感測器初探蛇類的纏繞力

最高(153.4)，與佛州王蛇的表現相近(149.8)。由此可知，不同蛇種的平均纏繞總力及平均最大纏繞力未必會相同。

表 5 三種蛇的纏繞力數值表

種類	N	MTF	SD	MMF	SD
CR	5	42.0	11.0	111.2	32.5
SB	5	84.6	11.0	153.4	20.7
FK	5	88.9	20.7	149.8	18.2

備註：N=樣本數、CR=玉米蛇、SB=肯亞沙蚺、FK=佛州王蛇、MTF=平均纏繞總力、MMF=平均最大纏繞力、SD=標準差

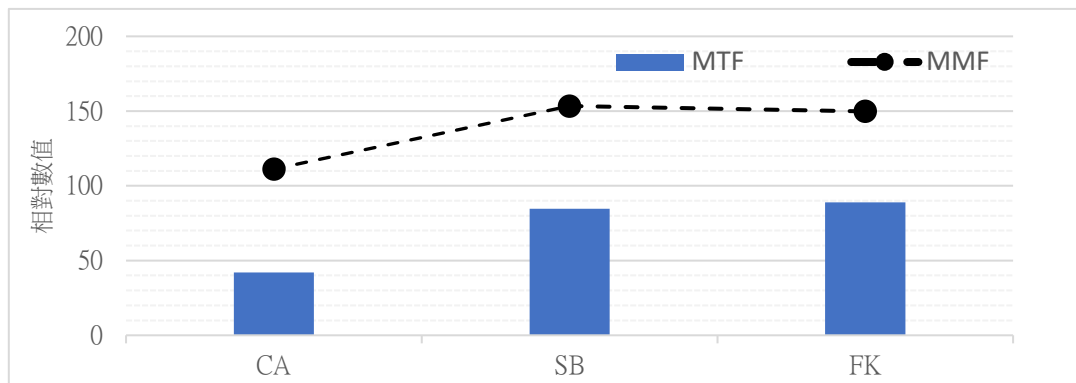


圖 12 三種蛇的纏繞力比較圖

備註：CR=玉米蛇、SB=肯亞沙蚺、FK=佛州王蛇、MTF=平均纏繞總力、MMF=平均最大纏繞力

### (二)討論

在實驗過程中，我們發現佛州王蛇及肯亞沙蚺的纏繞方式比較緊密，像一圈一圈相疊，玉米蛇的纏繞則帶有交錯沒那麼整齊(如圖 13、14、15)。我們推測，這樣的差異可能也會影響牠們的纏繞力。但目前我們還無法確定是否有關聯，未來或許能從力學的角度深入探討。另外，我們也觀察到玉米蛇與佛州王蛇體長雖較肯亞沙蚺長，但玉米蛇纏繞力卻較弱，因而聯想「纏繞力是否與體長或體積有關？」此問題將在研究項目二進行探討。



圖 13 玉米蛇纏繞



圖 14 肯亞沙蚺纏繞

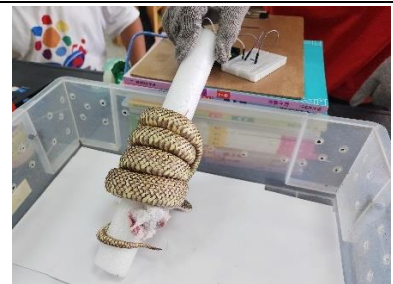


圖 15 佛州王蛇纏繞

## 二、研究項目二：蛇的體型與纏繞力之相關性

### (一)結果

#### 1.體長與纏繞力的相關性

佛州王蛇的平均體長最長 (111.2 cm)，肯亞沙蚺最短，平均為 65 cm(表 6)。那麼，體



長是否會影響到纏繞力呢？由表 6 及圖 16 可見，蛇的體長與平均纏繞總力之間的關係未呈線性分布。經皮爾森相關性分析結果顯示，體長與纏繞總力呈負相關 ( $r = -0.156$ )，但未達顯著差異 ( $p = 0.579$ )。也就是說，蛇的體長較長時，牠的纏繞總力不一定較高。

表 6 三種蛇的平均體長與體積

種類	N	Mean TL(cm)	SD	Mean V	SD
CR	5	98.4	8.3	92.3	17.4
SB	5	65	2.2	135.7	43.1
FK	5	111.2	7.6	199.9	32.2

備註：N=樣本數、CR=玉米蛇、SB=肯亞沙蚺、FK=佛州王蛇、Mean TL=平均體長、Mean V=平均體積  
SD=標準差

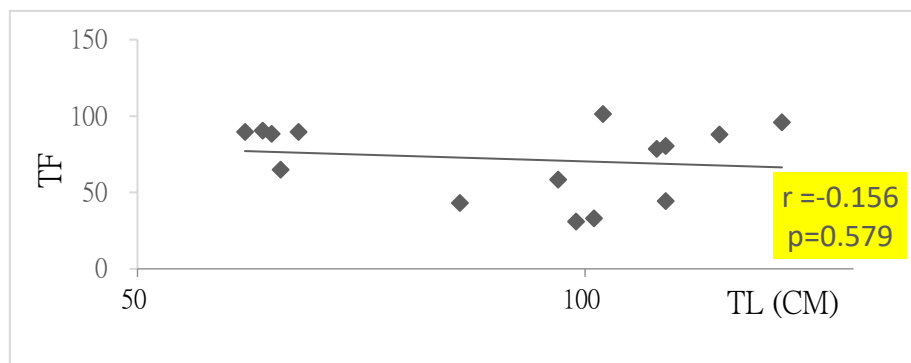


圖 16 蛇的體長與平均纏繞總力關係圖

## 2. 體積與纏繞力的相關性

在體積概算方面，體積最大的是佛州王蛇，平均體積為  $199.9 \text{ cm}^3$ ，體積最小的是玉米蛇，平均為  $92.3 \text{ cm}^3$  (如表 6)。若換成蛇的體積與纏繞總力相比，以皮爾森相關性分析結果顯示，體積與纏繞總力呈顯著正相關 ( $r = 0.655$ ,  $p = 0.008$ ) (圖 17)，也就是說，蛇的體積越大，纏繞總力相對越高。

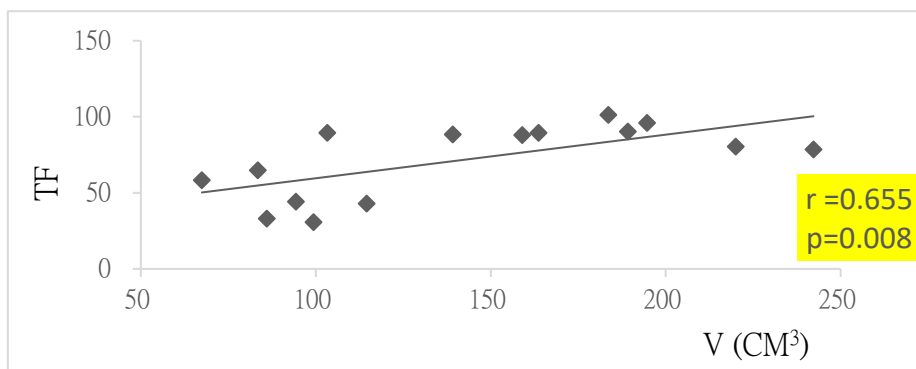


圖 17 蛇的體積與平均纏繞總力關係圖

備註：TL=體長(cm)、V=體積( $\text{cm}^3$ )、TF=纏繞總力(圖 16、圖 17)

## (二) 討論

這次實驗發現，蛇的體長與纏繞總力之間沒有明顯關係，這與原先假設不符。但體積與纏繞總力卻呈現顯著正相關。我們推測，這可能是因體型粗壯的蛇具有較多肌肉量，因

此能產生較大的力量。肯亞沙蚺雖體長不及佛州王蛇和玉米蛇，但因身體維度較大，所計算出的體積反而高於玉米蛇，纏繞總力也高於玉米蛇。

### 三、研究項目三：溫度梯層對不同蛇種的纏繞力之影響

#### (一)結果

如表 7 及圖 18 所示。玉米蛇在 14 °C 時平均纏繞總力為 33.5，至 25 °C 時為 54.9，到達 32 °C 時略降為 51.6。肯亞沙蚺在三種溫度下分別約 83.5、78.7、81.9，折線變化較不大。佛州王蛇則隨溫度升高由 57.1 增加到 94，呈現明顯上升趨勢。

表 7 三種蛇在不同溫度之下的纏繞力

種類	N	MTF $\pm$ SD			MMF $\pm$ SD		
		14 °C	25 °C	32 °C	14 °C	25 °C	32 °C
CR	5	33.5 $\pm$ 9.2	54.9 $\pm$ 11.6	51.6 $\pm$ 11.0	113.8 $\pm$ 15	104.8 $\pm$ 9.4	99.4 $\pm$ 16.3
SB	5	83.5 $\pm$ 8.8	78.7 $\pm$ 12.8	81.9 $\pm$ 9.7	156.4 $\pm$ 18.6	158.8 $\pm$ 10.1	150.8 $\pm$ 18.1
FK	5	57.1 $\pm$ 19.9	87.3 $\pm$ 19.0	94.0 $\pm$ 15.4	139 $\pm$ 22.8	111.6 $\pm$ 20.8	139 $\pm$ 22.1

備註：CR=玉米蛇、SB=肯亞沙蚺、FK=佛州王蛇、SD=標準差、MTF=平均纏繞總力、MMF=平均最大纏繞力

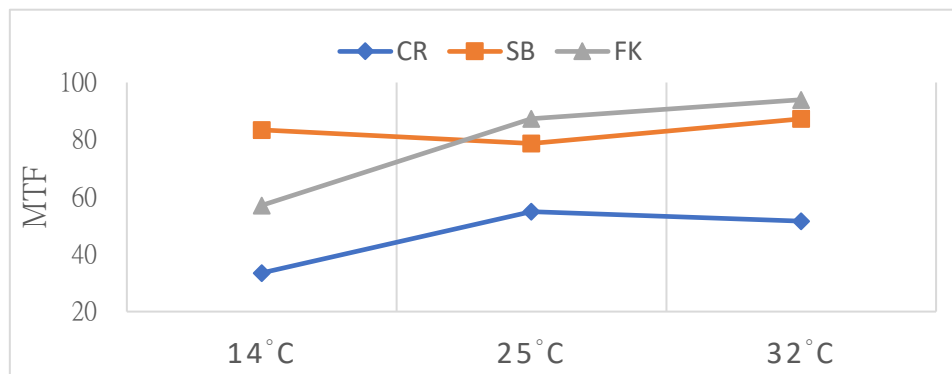


圖 18 不同溫度下三種蛇的平均纏繞總力比較圖

在平均最大纏繞力的部分，從圖 19 可以發現一些趨勢，就是三種蛇的數值變化幅度都不明顯，整體表現相對穩定。也就是說，三種蛇的平均最大纏繞力並未隨溫度的升高或降低而出現明顯變化。

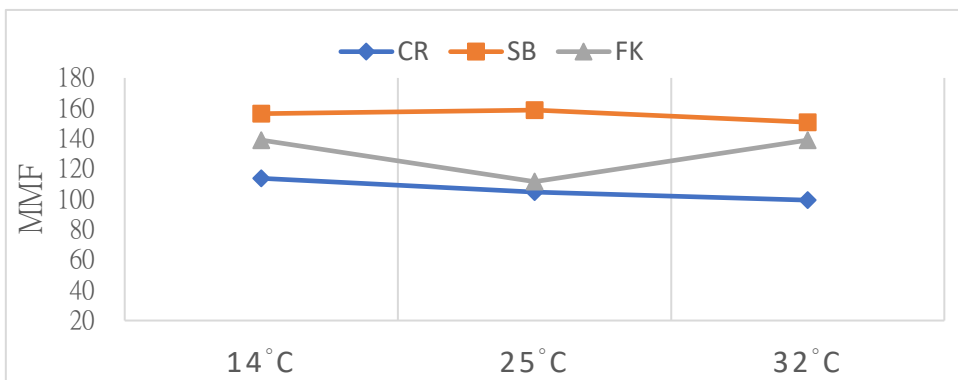


圖 19 不同溫度下三種蛇的平均最大纏繞力比較圖

備註：CR=玉米蛇、SB=肯亞沙蚺、FK=佛州王蛇、MTF=平均纏繞總力、MMF=平均最大纏繞力(圖 18、圖 19)

## (二)討論

- 1.我們原先假設「在不同溫度之下，蛇的纏繞力表現會有所差異」。此假設與我們的研究結果部分相符；在溫度與平均纏繞總力部分，我們發現玉米蛇與佛州王蛇從 14°C 到 32°C 的表現有逐漸提升的趨勢，這顯示牠們的纏繞行為可能會受溫度影響，在低溫時因代謝率下降而導致力量表現降低，而在較高溫度下則反之(杜銘章，2004)。
- 2.其實溫度對平均最大纏繞力的表現影響不大。我們在實驗中有觀察到，三種蛇的最大纏繞力都出現在前 30~40 秒，顯示纏繞力會隨時間變化，且蛇可能在獵食初期都有施展最大纏繞力的能力。
- 3.這次實驗的三種蛇裡，肯亞沙蚺的表現是最穩定的。牠原棲息在非洲肯亞的沙漠環境(Mattison, 2000；長板拓也，2002)，沙漠氣候條件乾燥、日夜溫差大(維基百科)。肯亞沙蚺有可能對溫度的適應性較強，因而在這次實驗裡牠的纏繞力方面都比較不受溫度的影響。

## 柒、結論與未來展望

### 一、結論

- (一)不同種類的蛇在平均纏繞總力及平均最大纏繞力表現都有所差異。本次實驗的三種蛇以佛州王蛇的平均纏繞總力最佳，肯亞沙蚺的平均最大纏繞力最大。兩種蛇的纏繞力表現都高於玉米蛇。
- (二)蛇的體長與纏繞總力沒有顯著相關，但體積與纏繞總力呈顯著正相關。
- (三)平均纏繞總力會隨溫度升高而增加，玉米蛇與佛州王蛇的影響較明顯；三種蛇的平均最大纏繞力在不同溫度之下都變化不大。
- (四)肯亞沙蚺在不同溫度下纏繞力都表現最穩定，可能與原生棲息於日夜溫差大的沙漠環境有關，而有較強的溫度適應性。

### 二、未來展望

#### (一)研究限制

完成實驗後我們省思，因設備和蛇的行為都有些限制，所以結果可能會受到影響：

##### 1.壓力感測片(FSR)的安裝

我們原本打算要並聯兩片 FSR 來增加測量的完整性，不過如果誘食器太粗，蛇會較不太願意纏繞上去。這次我們做的誘食器直徑只有 3 公分，因上面還要附加食餌，所以最後只能裝一片 FSR，這樣測出來的數據，可能會少掉一部分力量。

##### 2.纏繞行為

我們觀察到，每隻蛇在咬住食餌時，頭頸部皆無法纏繞在誘食器上面(圖 9)，因此測得力量會少去懸空的那一小節，這可能使蛇的纏繞力會被低估。但由於每隻蛇都在相同條件下進行施測，所以結果仍可進行比較。

## (二)後續研究方向

經由這次的研究，我們初步了解到蛇的纏繞力會受種類、體積與溫度所影響。未來如果有更多時間，或許可以再針對年齡、性別等條件，更深入去進行探討。

## 捌、參考文獻

### 一、書籍

- 1.Chris Mattison。(2000)。蛇類圖鑑。貓頭鷹出版社。台北。
- 2.長板拓也。(2002)。爬蟲類兩棲類 800 種圖鑑。展新文化事業股份有限公司。臺北。
- 3.杜銘章。(2004)。蛇類大驚奇。遠流出版社。臺北。
- 4.慧手科技、徐瑞茂、林聖修。(2001)。Arduino 智慧生活基礎應用-使用圖控化 motoBlockly 程式語言。台科大。台北。

### 二、文獻與期刊

- 1.金磊。(2008)。台灣龜殼花屬蛇類不同溫度下之行為表現。國立台灣師範大學生命科學研究所碩士論文。台北。
- 2.Greenwald, O. E. 1974. Thermal dependence of striking and prey capture by gopher snake. Copeia. 1: 141-148.
- 3.Dupoué, A., Stahlschmidt, Z. R., Michaud, B. and Lourdais, O. (2015). Physiological state influences evaporative water loss and microclimate preference in the snake *Vipera aspis*. Physiol. Behav. 144, 82-89.
- 4.Whitaker, P. B., Ellis, K. and Shine, R. (2000). The defensive strike of the eastern brown snake, *Pseudonaja textilis* (Elapidae). Functional Ecology. 14: 25-31.

### 三、網站

- 1.維基百科  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BB%B4%E5%9F%BA%E7%99%BE%E7%A7%91>
- 2.Maker 電子學-電阻性力感測元件的原理與應用  
<https://makerpro.cc/2021/01/resistive-force-sensor-principles-and-application/>